

Л. М. Иольсон.

Влияние времени и условий хранения на свойства портланд-цемента.

Принимая в течение ряда лет участие в комиссиях по приемке и испытанию портланд-цемента для военных и гражданских строительных работ, я неоднократно встречал случаи забракования цемента вследствие комковатости, недостаточного удельного веса (ниже 3,05), непостоянства объема и, реже, недостаточного сопротивления разрыву.

При контрольных анализах все это подтверждалось, а между тем, по предъявляемым заводами данным, этот же цемент был испытан на заводе и оказался вполне удовлетворительным. Отсюда прямой вывод, что свойства цемента изменились при хранении.

Для выяснения вопроса о том, как отражаются время и условия хранения на свойствах цемента, мною было предпринято настоящее исследование, т. к. почти никаких данных об этом в технической литературе не имеется.

Для исследования был взят свежий портланд-цемент Еринского завода, тщательно размешан и рассыпан в 3 сосновых ящика размером $10'' \times 10'' \times 10''$, 3 боченка из $\frac{1}{2}''$ сосновых досок с дерев. обручами размером $9'' \times 10''$ и в 3 парусиновых мешка размером $13'' \times 23''$, плотность парусины—35 ниток в 1 дюйме. Ящики и боченки до насыпки цемента были выстланы внутри газетной бумагой. Один ящик, боченок и мешок были помещены на наклонной крыше, совершенно открыто; один ящик, боченок и мешок были помещены во дворе под навесом без стен и, наконец, один ящик, боченок и мешок были помещены на иолу в закрытом отапливаемом помещении со средней годовой температурой около $+17^{\circ} \text{C}$. Вес каждой пробы 1 пуд.

При исследовании цемента, произведенном до начала работ, оказалось следующее:

Удельный вес	3,19
Сопротивл. разрыву	62 кг/см. ²

Потеря при прокалив.	0,84°
Содержание CaCO_3	1,10°
Норм. количество воды	24,5°

Определение удельного веса производилось при помощи объеметра Лешателье-Кандлю при $t=20^\circ\text{C}$ и при наполняющей жидкости-бензине. Определение сопротивления разрыву производилось следующим образом: 400 гр. цемента всыпалось в фарфоровую ступку диаметром $9\frac{1}{2}''$, приливалось определенное предварительным опытом нормальное количество воды—98 куб. см. (24,5%) и размешивалось в течении ровно 5 минут радиальными и круговыми движениями пестика. Полученное тесто накладывалось ложечкой в металлические формы, смазанные тонким слоем вазелина и помещенные на стеклянных пластинках, прикрытых мокрой фильтровальной бумагой. Для уплотнения теста и удаления пузырьков воздуха производилось три колебательных движения. По истечении 30 мин. излишек цемента срезался ножом и пробы оставались в воздухе ровно 24 часа, а затем вынимались из форм и помещались в большой сосуд с водой из водопровода, в которой образцы хранились в течение 7 суток, после чего подвергались разрыву в приборе Михаэлиса с автоматом Урешева.

Для определения потери при прокаливании бралась навеска ровно в 1 гр. цемента и прокаливалась на паяльном столе в фарфор. тигле, размером 30×27 мм. в течении 15 минут, а затем, после охлаждения и взвешивания, вновь прокаливалась в течение 15 минут, охлаждалась и взвешивалась. Потеря состоит из связанной CO_2 , гидратной и абсорбированной воды и абсорбированных газов.

Содержание CaCO_3 определялось по методу *Frühling'a*, причем в виду малого, сравнительно, содержания CO_2 и для уменьшения могущей быть ошибки, навеска бралась в 10 раз больше вычисленной по таблицам на основании показаний барометра и термометра. Определение нормального количества воды производилось при помощи прибора Вика-Тетмайера. Наконец, было произведено определение крупности помола, для чего 100 гр. цемента встряхивалось в руках без ударов в течение ровно 10 минут в цементном сите. Средние результаты оказались следующие:

на сите в 900 отв.	2,25°
" " 4900	34,15°
прошло через оба сита	63,60°

Испытание лепешки из нормального теста на постоянство объема дало положительные результаты.

От всех 9 проб, помещенных в комнате, под навесом и на открытом воздухе отбирались через определенные промежутки времени пробы в количестве 1000 гр. и подвергались испытаниям для определения:

1. Удельного веса.
2. Содерж. летучих веществ.
3. Содержание CaCO_3 .
4. Сопротивл. разрыву.
5. Постоянства объема.

При испытании главное внимание обращалось на абсолютно одинаковые условия испытания для того, чтобы получить вполне сравнимые результаты. Все испытания производились точно так же, как описанные выше испытания основной пробы, при тех же температурах, промежутках времени, навесках и пр. Испытания производились через 40, 80, 120, 180, 300 и 420 дней.

Результаты испытаний получились следующие:

1-я серия.

Пробы в закрытом помещении.

I. Изменение удельного веса.

Время испытания.	Проба в ящике.	Проба в боченке.	Проба в мешке.
Основное	3,190	3,190	3,190
Через 40 дней	3,158	3,155	3,142
„ 80 „	3,128	3,139	3,099
„ 120 „	3,108	3,106	3,063
„ 180 „	3,003	3,085	3,039
„ 300 „	3,055	3,070	3,035
„ 420 „	3,019	3,051	3,035

Графически это изменение изображено на диагр. № 1а-в.

II. Изменение содержания летучих веществ.

Время испытания.	Проба в ящике.	Проба в боченке.	Проба в мешке.
Основное	0,84 ⁰ / ₀	0,84 ⁰ / ₀	0,84 ⁰ / ₀
Через 40 дней	3,01 ⁰ / ₀	1,50 ⁰ / ₀	2,52 ⁰ / ₀
„ 80 „	2,35 ⁰ / ₀	2,23 ⁰ / ₀	3,55 ⁰ / ₀
„ 120 „	2,55 ⁰ / ₀	2,15 ⁰ / ₀	4,02 ⁰ / ₀
„ 180 „	5,00 ⁰ / ₀	3,06 ⁰ / ₀	5,59 ⁰ / ₀
„ 300 „	5,00 ⁰ / ₀	3,71 ⁰ / ₀	5,51 ⁰ / ₀
„ 420 „	4,65 ⁰ / ₀	4,15 ⁰ / ₀	5,39 ⁰ / ₀

Графически это изменение изображено на диагр. № 2а-в.

III. Изменение содержания CaSO_3 .

Время испытания.	Проба в ящике.	Проба в боченке.	Проба в мешке.
Основное	1,10 ⁰ / ₀	1,10 ⁰ / ₀	1,10 ⁰ / ₀
Через 40 дней	1,98 ⁰ / ₀	1,75 ⁰ / ₀	2,00 ⁰ / ₀
„ 80 „	3,05 ⁰ / ₀	3,60 ⁰ / ₀	4,60 ⁰ / ₀
„ 120 „	4,15 ⁰ / ₀	4,80 ⁰ / ₀	6,90 ⁰ / ₀
„ 180 „	6,25 ⁰ / ₀	6,00 ⁰ / ₀	8,10 ⁰ / ₀
„ 300 „	7,00 ⁰ / ₀	6,00 ⁰ / ₀	8,65 ⁰ / ₀
„ 420 „	7,65 ⁰ / ₀	6,60 ⁰ / ₀	8,80 ⁰ / ₀

Графически это изменение изображено на диагр. № 3а-в.

IV. Изменение сопротивл. разрыву.

Время испытания.	Проба в ящике.	Проба в боченке.	Проба в мешке.
Основное	62,2 кл/см ²	62,2 кл/см ²	62,2 кл/см ²
Через 40 дней	59,5 „	59,2 „	59,0 „
„ 80 „	52,0 „	51,0 „	38,5 „
„ 120 „	57,0 „	58,0 „	46,0 „
„ 180 „	28,0 „	43,0 „	30,0 „
„ 300 „	29,5 „	42,0 „	24,5 „
„ 420 „	20,5 „	38,0 „	21,0 „

Графически это изменение изображено на диагр. № 4а-в.

При испытании проб этой серии замечено, что нормальное количество воды возрастает от 24,5⁰/₀ до 26⁰/₀, цемент постепенно слипается и перестает выдерживать пробу на постоянство объема.

2-я серия.

П р о б ы п о д н а в е с о м .

I. Изменение удельного веса.

Время испытания.	Проба в ящике.	Проба в боченке.	Проба в мешке.
Основное	3,190	3,190	3,190
Через 40 дней	3,161	3,158	3,138
„ 80 „	3,125	3,106	3,099
„ 120 „	3,120	3,114	3,085
„ 180 „	3,080	3,098	3,053
„ 300 „	3,075	3,085	3,040
„ 420 „	3,061	3,075	3,045

Графически это изменение изображено на диагр. № 5а-в.

II. Изменение содерж. летучих веществ.

Время испытания.	Проба в ящике.	Проба в боченке.	Проба в мешке.
Основное	0,84 ⁰ / ₀	0,84 ⁰ / ₀	0,84 ⁰ / ₀
Через 40 дней	1,66 ⁰ / ₀	1,58 ⁰ / ₀	2,07 ⁰ / ₀
" 80 "	2,20 ⁰ / ₀	1,81 ⁰ / ₀	2,69 ⁰ / ₀
" 120 "	1,94 ⁰ / ₀	2,04 ⁰ / ₀	3,64 ⁰ / ₀
" 180 "	2,50 ⁰ / ₀	2,00 ⁰ / ₀	4,40 ⁰ / ₀
" 300 "	3,05 ⁰ / ₀	2,08 ⁰ / ₀	4,67 ⁰ / ₀
" 420 "	3,44 ⁰ / ₀	2,43 ⁰ / ₀	5,02 ⁰ / ₀

Графически это изменение представлено на диагр. № 6^{а-в}.

III. Изменение содержания СаСО₃.

Время испытания.	Проба в ящике.	Проба в боченке.	Проба в мешке.
Основное	1,10 ⁰ / ₀	1,10 ⁰ / ₀	1,10 ⁰ / ₀
Через 40 дней	1,92 ⁰ / ₀	1,75 ⁰ / ₀	3,02 ⁰ / ₀
" 80 "	3,50 ⁰ / ₀	3,60 ⁰ / ₀	4,50 ⁰ / ₀
" 120 "	4,40 ⁰ / ₀	2,40 ⁰ / ₀	7,10 ⁰ / ₀
" 180 "	5,70 ⁰ / ₀	5,40 ⁰ / ₀	7,40 ⁰ / ₀
" 300 "	6,70 ⁰ / ₀	5,65 ⁰ / ₀	8,30 ⁰ / ₀
" 420 "	7,05 ⁰ / ₀	6,17 ⁰ / ₀	8,60 ⁰ / ₀

Графически это изменение изображено на диагр. № 7^{а-в}.

IV Изменение сопротивлен. разрыву.

Время испытания.	Проба в ящике.	Проба в боченке.	Проба в мешке.
Основное	62,2 кл/см ²	62,2 кл/см ²	62,2 кл/см ²
Через 40 дней	59,5 "	54,0 "	53,0 "
" 80 "	48,0 "	50,5 "	49,0 "
" 120 "	54,5 "	54,0 "	38,5 "
" 180 "	58,5 "	51,5 "	38,0 "
" 300 "	52,0 "	43,5 "	34,5 "
" 420 "	50,2 "	44,5 "	32,7 "

Графически это изменение изображено на диаграмме № 8^{а-в}.

При испытании проб этой серии, как и серии 1, замечено, что нормальное количество воды возрастает с 24,5⁰/₀ до 26⁰/₀, цемент постепенно слипается и перестает выдерживать пробу на постоянство объема.

3-я серия.

Пробы на открытом воздухе.

При испытании проб оказалось, что уже через 40 дней все пробы, кроме хранившейся в ящике, схватились и стали негодными для испытания. Проба в ящике схватилась после 80 дней. Результаты этой серии опытов представлены на нижеследующей таблице:

П р о б а в я щ и к е.

Время испытания.	Уд. вес.	Содерж. летуч. вещ.	Содержание Ca CO_3	Сопротивл. разрыву.
Основное	3,190	0,84%	1,10%	52,2 кл/см ²
Через 40 дней	3,115	3,04%	2,05%	44,5 „
„ 80 „	3,079	3,54%	3,35%	42,5 „

З а к л ю ч е н и е

1. Портланд-цемент при хранении изменяет свои свойства, причем это изменение идет очень интенсивно около 6 месяцев (для данного цемента и данной унаковки), а затем замедляется, заканчиваясь отвердением цемента.

2. Изменение свойств портланд-цемента идет сильнее всего при хранении на открытом воздухе, значительно медленнее в закрытом помещении и еще медленнее при хранении под навесом. Поэтому наилучшим способом является хранение под навесом; оставление цемента на открытом воздухе даже на самый короткий срок недопустимо.

Примечание: Наблюдаемые в диаграммах скачки зависят несомненно от изменения влажности воздуха в разное время года и доказывают, что изменение свойств портланд-цемента может идти в обе стороны, в зависимости от внешних условий.

3. При прочих одинаковых условиях портланд-цемент меньше всего изменяет свои свойства при хранении в бочках, сильнее при хранении в ящиках и еще сильнее при хранении в мешках.

4. Изменение свойств портланд-цемента, в противоположность т. н. магазинированию, состоит в том, что происходит поглощение влаги и углекислоты воздуха, вследствие чего увеличивается содержание летучих веществ и Ca CO_3 и одновременно уменьшаются удельный вес и сопротивление разрыву.

Кроме того, с течением времени увеличивается нормальное количество воды, портланд-цемент становится комковатым, слипается, и, наконец, отвердевает, переставая постепенно выдерживать пробу на постоянство объема.

Для более крупной упаковки, вероятно, скорость изученных реакций будет меньше; точно также они могут иметь другую скорость в зависимости от сорта цемента, но, несомненно, закон изменения остается тот-же, т. к. он зависит исключительно от состава цемента и окружающего воздуха.

Несмотря на то, что полученные данные указывают на химическую сущность происходящего процесса, заключающегося в гидратации свободной извести, заключающейся в портланд-цементе или выделяющейся при разложении какого-то силиката, с последующим превращением ее в CaCO_3 , что является повидимому причиной разбухания цемента и понижения его крепости после схватывания, тем не менее я воздерживаюсь от каких-либо заключений в этом направлении, т. к. настоящая работа является введением в задуманную мною серию работ, имеющих конечной целью познание истинной природы портланд-цемента путем динамического изучения отдельных его свойств.

На полноту и глубину настоящей работы, к сожалению, сильно повлияли условия переживаемого времени, непрерывно отвлекавшие меня от работы и сильно ограничивавшие технические средства.

Август 1920 г.

Иольсон.









